

Bilan entre la production d'effluents d'élevage et leur utilisation potentielle pour fertiliser les cultures et les étangs

Jean-Michel Médoc

Cirad – Persyst – Unité de recherche Risque environnemental lié au recyclage

TA B78/01

Av. Agropolis

34398 Montpellier Cedex 5

Tél. : +33 4 67 61 71 95

Fax : +33 4 67 61 71 48

Courriel : medoc@cirad.fr

Diapo 1 : Bilan entre la production d'effluents d'élevage et leur utilisation potentielle pour fertiliser les cultures et les étangs

Le recyclage des effluents d'élevage en agriculture est une voie intéressante pour améliorer la durabilité des exploitations d'élevage dans la mesure où ce recyclage est basé sur le raisonnement agronomique de la fertilisation des cultures. Il s'agit à la fois d'acquérir une meilleure connaissance de la zone et d'éclairer les acteurs agricoles sur la situation de leur territoire en terme de production et d'utilisation d'effluents d'élevages. Si le bilan global est déficitaire alors il y a nécessité pour les agriculteurs d'importer les matières organiques ou des fertilisants de synthèse pour satisfaire les besoins de leurs cultures. Si le bilan global est excédentaire, des transferts de matières organiques, brutes ou transformées, devront être envisagés vers des zones déficitaires. Ce diagnostic correspond à la base agronomique et géographique pour envisager quantitativement de tels transferts (Leterme, 2003). La finalité est, à l'issue de ce bilan, de proposer, en lien avec les acteurs agricoles, des solutions de gestion adaptées.

Cet exposé est organisé en deux parties:

- 1) Dans une première partie théorique, je présente la bibliographie sur les bilans en éléments nutritifs, notre idée, et la méthode permettant d'aboutir au calcul du bilan.
- 2) Dans la deuxième partie plus illustrative, je présente la mise en œuvre de la méthode sur le cas de la zone agricole des Hauts du Tampon (La Réunion – Océan Indien)

Enfin, en guise de conclusion, je présente un essai de conceptualisation du bilan entre la production d'effluents d'élevage et leur utilisation potentielle pour fertiliser les cultures à différentes échelles.

Diapo 2 : Objectif et intérêt

L'objectif de cette étude est de réaliser un bilan des éléments nutritifs issus des effluents d'élevages pour la zone étudiée. Il s'agit à la fois d'acquérir une meilleure connaissance de la zone et d'éclairer les acteurs agricoles sur la situation de leur territoire en terme de production et d'utilisation d'effluents d'élevages.

D'un point de vue « agronomique », il s'agit d'évaluer l'adéquation ou l'inadéquation entre [l'offre en effluent d'élevage](#) et les besoins des cultures et des étangs piscicoles dans les zones de production animale afin de favoriser le recyclage agricole des effluents d'élevage.

D'un point de vue « gestion environnementale », il sert d'outil d'identification de questions à approfondir en terme de gestion intégrée. Par exemple dans le cas d'un excédent global, cela permet d'envisager la piste de la transformation des effluents et dans le cas d'un déficit global, focaliser sur les cas individuels présentant des difficultés et améliorer leur stratégie de gestion.

Diapo 3 : Etat de l'art

Qu'est qu'un bilan ? Dans toutes les approches présentées, c'est la différence entre la quantité totale des intrants azotés pénétrant dans le sol et la quantité d'extrants azotés quittant le sol, sur la base du cycle de l'azote. On peut en faire autant sur la base des cycles du phosphore et du potassium.

Généralement on considère l'azote contenu dans les engrais minéraux, les déjections animales, la fixation biologique de l'azote et la sédimentation comme des intrants. Et l'azote contenu dans les produits récoltés, les résidus de récolte (lorsqu'ils sont exportés ou brûlés), le lessivage, les pertes gazeuses, l'érosion comme des extrants.

La bibliographie existante est abondante et relativement récente sur les bilans en éléments nutritifs (cf. § Ressources).

Selon les situations, la FAO présente, dans un rapport de 2006, plusieurs approches et méthodes qui ont été utilisées pour ces évaluations. Cette synthèse est le résultat d'une conférence électronique lancée par la FAO en 2002 et 2003.

On trouve donc dans la bibliographie des méthodes adaptées à chacun des niveaux micro (parcelle, exploitation agricole), méso (région, zone agroécologique), macro (pays, continent, monde), ci-dessous quelques exemples de références :

Micro: le système NUTMON (Nutrient Monitoring) permet le suivi des éléments nutritifs dans les systèmes agricoles tropicaux et l'analyse de la durabilité financière et environnementale des systèmes.

Meso: méthode Stoorvogel et Smaling, 1990

Macro : méthode Stoorvogel et Smaling, 1990, approche IFDC qui tire parti des travaux précédents en utilisant les caractéristiques des SIG conjointement avec les méthodes et procédures permettant d'estimer les bilans. Au niveau national, approche OCDE

Toutes ces approches sont basées sur des laps de temps courts (saison, cycle culturaux, année) et dépendent de nombreuses hypothèses relatives à la dynamique des éléments nutritifs dans les sols, à leur efficacité d'utilisation par les plantes, etc.

Aujourd'hui, ces bilans sont considérés comme des indicateurs de durabilité des systèmes agricoles et ils sont utiles pour concevoir des stratégies de gestion des éléments nutritifs. Schröder et al (2003) voient ces bilans comme un indicateur des pertes d'azote vers le sous-sol et d'évaluation des pratiques de gestion des agriculteurs. Dans le contexte africain, les bilans réalisés visent à évaluer le niveau de fertilité des sols en nutriments en fonction des pratiques des agriculteurs (De Jager et al, 1998; Van den Bosch et al, 1998 ; Smaling and Fresco, 1993). La méthode utilisée dans ces différentes études vise à obtenir chaque année l'équilibre entre la somme des entrées et la somme des sorties. De la plante au continent, ces bilans entrées-sorties sont utilisés comme indicateurs pour l'aide à la décision des acteurs (de l'agriculteur aux décideurs mondiaux). Cependant, Schröder et al (2003) et Aarts et al (2000) estiment que ces bilans de nutriments, notamment à des petites échelles, peuvent ne pas fournir les informations utiles à l'identification du « maillon faible » des pratiques. Ils proposent donc d'analyser des bilans élémentaires de chacun des compartiments d'un système (sol, plante, produits animaux, effluents,...).

Diapo 4 : Idée

Biophysiquement, le principe d'une fertilisation équilibrée (*i.e.* [raisonnée](#)), qui est à la base de la gestion des rapports entre les systèmes de production animale et les systèmes de production végétale sur le plan des nutriments, demanderait à ce qu'on égalise les besoins des cultures en nutriments et les fournitures en nutriments des déjections animales, des engrais minéraux et du sol ; plutôt que l'ensemble des entrées et sorties d'un système.

Contrairement aux approches ci-dessus, il est possible pour calculer un bilan entre l'offre en effluent d'élevage et les besoins des cultures, à l'échelle de territoire de production animale, d'adopter une approche simplifiée besoins des plantes en nutriments vs les fournitures en nutriments (issues des déjections animales, des engrais minéraux et du sol).

Diapo 5 :

Suivant ce schéma de principe, notre objectif a été de collecter, d'organiser et de combiner l'information géographique et agronomique dans le système d'information géographique (*e.g.* MapInfo® Professional 7.0) afin d'estimer un bilan des éléments NPK issus des effluents d'élevage sur la zone considérée.

Cette démarche à l'échelle d'une zone vise à intégrer au mieux la complexité liée à la production de différents effluents d'élevage, la concurrence qui peut y avoir entre eux et à la diversité des utilisations possibles sur les cultures en considérant de manière raisonnée les besoins en nutriments des cultures, les conditions agroclimatiques de la zone influençant le comportement des matières organiques dans le sol et la réglementation relative à l'épandage.

Diapo 6 : Hypothèses

Les hypothèses retenues pour le calcul de ce bilan sont les suivantes :

- Zone n'exportant et ne recevant aucune matière organique ;
- Épandage potentiellement réalisable chez tous les agriculteurs disposant de parcelles cultivées ;
- L'année comme pas de temps de calcul.

Diapo 7 : Estimation des rejets des élevages – Offre en effluents

L'azote contenu dans les effluents d'élevages constitue un poste de fourniture au même titre que celui contenu dans les sols, dans les dépôts atmosphériques, dans les engrais minéraux ou apporté par la fixation biologique de l'azote. Connaissant la localisation des exploitations d'élevage de taille dite économique et les cheptels en présence, nous calculons la production [d'effluents d'élevage maîtrisables et non maîtrisables](#) ainsi que la quantité totale d'azote issue de ces productions sur une année. Les pratiques moyennes représentatives des agriculteurs de la zone sont considérées, de même pour les équations et les références de production pour chaque type d'animal.

Diapo 8 : Estimation prévisionnelle de N – Demande des cultures

Le calcul de la demande en N des cultures est basé sur le principe de la [fertilisation raisonnée](#). Je rappelle que l'objectif de cette approche est de déterminer la quantité d'éléments minéraux à apporter sur une culture en vue d'obtenir un rendement fixé, tout en limitant les risques de pollution. Les doses d'éléments apportées doivent compenser les exportations (supposées proportionnelles au rendement visé par l'agriculteur) en tenant compte de la fourniture du sol en éléments minéraux. On parle alors de bilan prévisionnel. Il existe deux équations pour le calcul de la fertilisation raisonnée azotée :

- 1) L'équation du bilan massique de l'azote
- 2) L'équation du bilan prévisionnel de l'azote ou l'équation d'efficience de l'azote

Ce mode de calcul se base sur l'estimation de la fourniture effective du sol en azote et des coefficients d'efficience de l'azote mesurés par voie expérimentale. Nous avons choisi d'utiliser cette seconde équation car beaucoup de termes nécessaires à la réalisation d'un bilan massique sont difficilement accessibles en milieu tropical et que nous disposions pour la majeure partie des grandes cultures tropicales des éléments de l'équation d'efficience de l'azote :

$$N_f = N_0 + CAU \times N$$

N_f = besoin total du peuplement végétal

N_0 = azote fourni par le sol (minéralisation naturelle, induite et reliquats) ou du moins un indicateur de la quantité d'azote fournie par le sol

CAU = coefficient apparent d'utilisation de l'azote variable en fonction de la culture réceptrice (besoin en N, période de ces besoins) et du climat de la région (volatilisation, minéralisation)

N = azote fourni par l'engrais minéral.

CAU = $[(N \text{ absorbé par la culture fertilisé} - N \text{ absorbé par le témoin non fertilisé}) / \text{Engrais azoté apporté}] \times 100$; *i.e.* proportion d'azote minéral apparemment absorbé par la plante *f* (culture, climat, effluent, mode et temps d'application de l'effluent)

CEA = calcul la masse d'ammonitrate ayant le même effet sur la production d'une culture que la masse d'azote total apporté par l'effluent; *i.e.* effet direct azote caractéristique de l'effluent apporté

Dans le cadre d'une fertilisation mixte on intègre l'apport en N des effluents d'élevage et on utilise le coefficient d'équivalence azotée (CEA) et le taux de substitution (a) de l'engrais minéral par les effluents. Si $a = 1$ alors la fertilisation est 100% organique. Si $a = 0$ alors la fertilisation est 100% minérale.

Diapo 9 : Références nécessaires pour le calcul des besoins des cultures

Les références disponibles seront différentes d'une zone à l'autre. Cinq grandes catégories de données sont nécessaires:

- 1) Localisation des cultures
- 2) Rendements visés
- 3) Besoins des cultures
- 4) Fourniture du sol
- 5) Coefficients d'efficacité de l'azote

La fertilisation est calculée sur une base tabulaire lorsqu'on ne dispose pas de données géoréférencées.

Diapo 10 : Scénarios de calcul des besoins des cultures

Ces scénarios sont construits sous deux hypothèses que nous rappelons ici :

- 1) L'ensemble des parcelles réglementairement épandables reçoivent des effluents d'élevage.
- 2) Aucune exportation ni importation de matière organique n'est effectuée dans la zone.

L'objectif pour les producteurs de matières organiques, notamment, est de valoriser au maximum leurs effluents d'élevage sur les cultures avec l'intérêt pour le consommateur de minimiser l'importation d'engrais minéral sur l'exploitation.

En fonction de la complétude des données, différents scénarios peuvent être mis en œuvre, par exemple :

- Selon les rendements attendus
- Selon la saison
- Selon l'effluent d'élevage (en fonction de la culture choisie et de la compatibilité de la matière organique, de ces caractéristiques)
- Selon les niveaux de substitution de l'engrais minéral par les effluents (en pratique nous appliquons le même taux de substitution à l'ensemble des cultures de la zone)
- Selon la réglementation en vigueur qui détermine les [Surfaces Potentiellement Epandables \(SPE\)](#)

Pour un scénario, le choix combiné de ces options nous permet d'obtenir les besoins des cultures en effluents d'élevage et la complémentation en engrais minéral d'une parcelle donnée ou d'un groupe de parcelles.

Diapo 11 : Un exemple Petit Tampon, Grand Tampon (La Réunion)

Diapo 12 : Petit-Grand Tampon

La zone concernée par l'étude regroupe les localités du Petit Tampon et du Grand Tampon. Elle se situe sur la commune du Tampon, au sud de la Réunion. Cette zone est localisée entre les latitudes 20°13'S et 20°16'S et les longitudes 55°31'E et 55°36'E. Elle présente une superficie de 2 800 ha et un dénivelé de 1 130 m, la partie la plus basse se situant à 550 m (route Hubert Delisle) et la plus haute à 1 680 m d'altitude (Notre Dame de la Paix). Ces limites géographiques confèrent à la zone d'étude une cohérence territoriale en lien avec la présence de barrières naturelles ou de zones urbanisées. Nous faisons l'hypothèse que les transferts de matières organiques se font à l'intérieur de ce territoire, en se basant sur des échanges prioritaires dus à la proximité des producteurs et des consommateurs de matières organiques.

Diapo 13 : Quelques caractéristiques

La zone d'étude du Petit-Grand Tampon correspond à une zone de « canne pluviale, pâturages et maraîchage ». En fait, on y retrouve à la fois une production d'élevage importante et diversifiée (porcs, volaille, vaches laitières, bovins allaitant et à l'engrais) associée à des systèmes de culture eux aussi diversifiés.

En ce qui concerne les cultures, la zone d'étude est divisée en deux parties :

Une partie basse au sud-ouest mise en valeur par des cultures de canne à sucre ;

Une partie haute au nord-est mise en valeur par des cultures fourragères en lien avec les élevages bovins.

A l'intérieur de ces deux parties, on trouve des cultures maraîchères (pommes de terre, haricots, carottes, fraises, chou chou, ...), semi-permanentes (ananas), fruitières (pêchers, agrumes), ainsi que du géranium.

Les espèces fourragères cultivées sur la zone d'étude sont des graminées tempérées (Dactyle, Ray-grass, Fétuque élevée, Brome cathartique, Flouve odorante, Houlque laineuse...), des graminées tropicales (Kikuyu, Chloris, Sétaria, Brachiaria, ...) et des cannes fourragères.

Diapo 14 : Quelques illustrations

Photo 1 : Vue d'ensemble de la partie haute de la zone du Petit Tampon – Grand Tampon

Photo 2 : Vue d'ensemble de la partie basse de la zone du Petit Tampon – Grand Tampon

Photo 3 : Parcelle de canne à sucre au relief accidenté

Photo 4 : Elevage bovin allaitant

Photo 5 : Rejet de lisier à l'arrière d'un bâtiment d'élevage

Diapo 15 : Estimation du stock de nutriments contenus dans les effluents

Concrètement, pour cette zone d'étude l'offre en effluents d'élevage est répartie en 54 tN/an pour les déjections maîtrisables avec une contribution sensiblement équivalente des élevages porcins, avicoles et bovins. 71 tN/an sont directement restitués au pâturage par les déjections non maîtrisables.

Cependant cette répartition n'est pas aussi équilibrée spatialement puisque les élevages porcins et avicoles se situent dans la partie basse de la zone d'étude alors que les élevages bovins sont répartis sur l'ensemble de la zone.

La production d'éléments non maîtrisables est importante notamment les restitutions directe de P2O5 et K2O. Un apport régulier d'engrais de ferme sur les prairies permet d'assurer la couverture des besoins en éléments phosphatés et potassiques. La répartition des déjections étant inégale sur la parcelle, il est nécessaire de s'assurer de l'état de nutrition phosphatée ou potassique de la prairie.

Diapo 16 : SPE engrais de ferme solides et liquides sur canne à sucre

A la Réunion comme en France Métropolitaine, ces SPE seront différentes en fonction de la taille des élevages puisqu'ils peuvent être soumis à deux réglementations différentes :

- 1) Le Règlement Sanitaire Départemental (RSD) pour les petits élevages
- 2) Les Installations Classées pour La Protection de l'Environnement (ICPE) pour les gros élevages

Dans notre situation la plupart des élevages sont soumis à la réglementation ICPE qui montre les réductions de surfaces de 50%.

Suite à cette opération, le SIG est capable de fournir un besoin en NPK adapté à la nouvelle superficie de la parcelle.

La figure illustre ces surfaces potentiellement épandables.

Diapo 17 : Besoins des cultures

En tenant compte des SPE présentées dans la diapositive précédente, les besoins des cultures sont exprimés en proportion des besoins en azote issu des effluents en fonction de 6 scénarios de substitution de l'engrais minéral par les effluents d'élevage.

Quelque soit le scénario d'épandage retenu, les cultures de canne à sucre et de fourrage, qui représentent plus de 90% de la surface agricole cultivée de la zone, ont un besoin compris entre 60 et 80% de l'azote issu des effluents d'élevage. La demande des cultures de canne à sucre est inférieure à 5% quelque soit le scénario d'épandage. Dans cette zone du Petit Tampon-Grand Tampon, les cultures fourragères constituent un véritable puits de consommation potentielle des effluents d'élevage et en particulier des engrais organiques. Les autres cultures et en particulier le maraîchage constituent un second puits de consommation potentielle de ces effluents (en particulier des amendements organiques).

Diapo 18 : Bilan des engrais de ferme – Σ offre EF - Σ besoins cultures

Un bilan (offre – demande) négatif dénote un déficit de matière organique pour fertiliser les cultures alors qu'un bilan positif dénote un surplus de matières organiques nécessitant une exportation des effluents bruts ou transformés de la zone excédentaire vers une zone déficitaire. La figure montre l'adéquation entre la production d'effluents d'élevage et les besoins de l'ensemble des cultures de la zone d'étude.

On observe que cette adéquation, quelque soit le scénario d'épandage, est négative. Compte tenu des hypothèses fixées (diapo 6), la production d'effluents d'élevage n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins des cultures. Notons toutefois que l'équilibre est presque atteint lorsque les cultures reçoivent une fertilisation mixte, 50% engrais de ferme-50% engrais minéraux, sur des surfaces épandables avec une pente inférieure à 15%.

Lorsqu'on ne considère que les besoins des cultures de canne à sucre et de fourrages, ce qui semble plus réaliste puisque les maraîchers, les planteurs d'ananas et de fraise de la zone utilisent de préférence les écumes de sucreries pour amender leurs parcelles, le bilan est plus contrasté en fonction des scénarios d'épandage, et probablement plus juste (diapo 20).

Diapo 19 : Bilans des engrais de ferme – besoins CAS et fourrage

En effet, dans le cas d'une fertilisation des cultures de canne à sucre et de fourrage entièrement organique, on observe toujours un déficit d'effluents d'élevage (en fait d'engrais organiques). En revanche, on s'approche de l'équilibre lorsque l'on réalise une fertilisation mixte des cultures, 66% engrais de ferme-34% engrais minéral.

Diminuer le taux de substitution des engrais minéraux par les engrais de ferme conduit à un excédent d'effluents d'élevage dans la zone.

Les cultures de maraîchage, d'ananas, de fraise et de géranium consommant principalement des écumes de sucreries importées, les amendements produits dans la zone et susceptibles d'être valorisés sur ces cultures ne le sont pas. Ainsi la majeure partie des litières de volailles et des fumiers de bovins peuvent représenter un risque de pollution s'ils ne sont pas exportés hors de la zone.

Ces résultats globaux et théoriques, a priori satisfaisants, nous ont conduit à réaliser des « diagnostics » au niveau des exploitations individuelles afin de les (*i.e.* bilans) comprendre au mieux, de déterminer les possibles difficultés de gestion des effluents au niveau de l'exploitation individuelle et, si nécessaire, de concevoir des stratégies de gestion de ces effluents afin de minimiser les risques de pollution dans la zone.

Diapo 20 : Conclusions et perspectives

En premier lieu, il est important de bien comprendre que ces résultats sont une « photographie théorique » et globale de l'adéquation entre un stock annuel d'effluents d'élevage (sources) et un stock potentiel consommant ces effluents (puits) réalisée sous certaines hypothèses à un instant donné.

Cette étude, compte tenu des hypothèses retenues, montre un bilan négatif ; ce qui signifie que les productions d'effluents d'élevage ne sont pas en excédent sur la zone. Cette vision globale et théorique est a priori satisfaisante. Mais, elle ne préjuge pas de la réalité à l'échelle des exploitations individuelles. Cependant, elle pourrait encore être précisée notamment au niveau de l'approche agronomique.

Cette vision globale d'un territoire par rapport sa production d'effluents d'élevage pourrait être prospective. Ces scénarios futurs pourraient être aisément envisagés dans la mesure où l'on dispose des évolutions de cheptels et des évolutions des surfaces potentiellement épandables. Ces informations sont disponibles dans les programmes de développement des filières animales et les perspectives d'étalement de la tâche urbaine (permettant de calculer les surfaces potentiellement épandables). Des scénarios pourraient être envisagés à l'horizon 2010 et 2015 permettant de projeter, avec toutes les précautions qui s'imposent, les marges de progression possibles en terme de production animale et tester d'autres modes de production des effluents et de pratiques compatibles avec les cultures en place et les surfaces potentiellement épandables effectivement disponibles.

Parallèlement à ces scénarios spatiaux, il est envisagé de construire des scénarios de gestion dynamique de ces effluents d'élevage, par l'utilisation de modèles de simulation développé au sein de notre équipe et permettant de simuler des transferts de matières organiques entre les ateliers de production et les ateliers de consommation de ces matières au niveau de l'exploitation individuelle et entre exploitations excédentaires et exploitations déficitaires. L'objectif est de minimiser les risques de pollution ponctuelle dans les exploitations d'élevage et de répartir au mieux les matières organiques produites dans une zone où les surfaces potentiellement épandables semblent suffisantes et les cultures présentes compatibles avec l'épandage.

Diapo 21 : Bilan à différentes échelles spatiales

UPMO = Unité de Production de Matière Organique

UCMO = Unité de Consommation de Matière Organique

SPE = Surface Potentiellement Epandable

Si le bilan est déficitaire alors il y a nécessité pour satisfaire les besoins des cultures :

D'augmenter la disponibilité des effluents soit en créant de nouvelles unité de production de matière organique (i.e. élevages) soit en important des matières organiques produites à l'extérieur de la zone.

De diminuer les besoins des cultures en diminuant les besoins en fertilisation organique.

Si le bilan est équilibré cela signifie qu'il y a adéquation entre [l'offre en effluents d'élevage](#) et les besoins des cultures. Dans ce cas s'il existe une SPE inférieure alors nous avons la possibilité de diminuer les besoins les surfaces et donc de réaliser un nouveau bilan. Sinon il faut descendre à un niveau plus fin et voir si des difficultés se présentent dans les exploitations individuelles

Si le bilan est excédentaire alors il y a nécessité de :

Soit de diminuer l'offre en effluents d'élevage en supprimant des élevages ou en transformant les effluents produits, par exemple

Soit en augmentant les besoins des cultures en élargissant la SPE ou en substituant les cultures existantes par d'autres cultures plus [demandeuses en effluents](#) par exemple.

On peut reconnaître que cet indicateur ne donne, dans un premier temps, qu'une vision globale et théorique, mais il permet d'envisager, dans un second temps, une meilleure gestion des nutriments, à condition d'être allé voir à l'échelle des exploitations individuelles. La construction de scénarios de gestion dynamiques par l'utilisation de modèles de simulation est une suite envisageable.

Ressources

Benoît M., 1992. Un indicateur des risques de pollution azotée nommé « Bascule » (Balance Azotée Spatialisée des systèmes de CULTure de l'Exploitation). Fourrages, 129: 95-110

Coppenet M., 1974. L'épandage du lisier de porcherie: ses conséquences agronomiques. Ann. Agron. 25: 403-423

Coppenet M., 1975. Bilan des éléments fertilisants sur les exploitations d'élevage. Fourrages 62: 119-132

De Jager A., Nandwa S.M., Okoth P.F., 1998 – Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON) I. Concepts and methodologies. Agric. Ecosyst. Environ. 71:37-48

Espagnol S., Ilari E., 2004. Les rejets d'azote et phosphore des exploitations porcines françaises face aux surfaces agricoles disponibles. Mise au point d'un outil d'évaluation. ITP, Paris, 125p + cartes

Gerber P., Chilonda P., Franceschini G., Menzi H., 2005. Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. Bioresource Technology, 96: 263-276

Médoc J.M., Raimbault T., Ayache B. 2006 – Assessment of the balance between livestock effluent production and nutrient demand by crops in a small agricultural area of the Reunion Island. 12th Ramiran international conference on Technology for recycling of manure and organic residues in a whole-farm perspective. Aarhus, Denmark 2006/09/11-14, Dias Report #123(2): 65-67 and poster

Médoc J.M., 2006 – Bilan entre la production d'effluents d'élevage et leur utilisation potentielle pour fertiliser les cultures. Cas du Petit Tampon-Grand Tampon. Rapport technique Cirad Saint-Denis, La Réunion, France, 47 p.

Nandwa S.M., Bekunda M.A., 1998 – Research on nutrient flows and balances in East and Southern Africa: state-of-the-art. *Agric. Ecosyst. Environ.* 71, 5-18.

Roy R. N., Misra R. V., Lesschen J. P., Smaling E. M., 2005 – Evaluation du bilan en éléments nutritifs du sol. Approches et méthodologies. *Bulletin FAO engrais et nutrition végétale* 14, 85 p.

Sacco D., Bassanino M., Grignani C., 2003 – Developing a regional agronomic information system for estimating nutrient balances at a larger scale. *European Journal of Agronomy*, 20:199-210

Schlecht E., Herniaux P., 2004 – Beyond adding up inputs and outputs: process assessment and upscaling in modelling nutrient flows. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 70:303-319

Schröder J.J., Aarts H.F.M., ten Berge H.F.M., van Keulen, H. Neeteson J.J., 2003 – An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *Europ. J. Agronomy*, 20:33-44

Simon J.C., Grignani C., Jacquet A., Le Corre L., Pagès J., 2000 – Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole : recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agronomie* 20 : 175-195

Simon, J.-C. and L. Le Corre (1992). Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation agricole : méthodologie, exemples de résultats. *Fourrages* 129: 79-94

Smaling E. M. A., Fresco L. O., 1993 – A decision-support model for monitoring nutrient balances under agricultural land use (NUTMON). *Geoderma*. 60, 235-256.

Stoorvogel J. J., Smaling E. M. A., 1990 – Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa: 1983-2000. Report #28. Wageningen, The Netherlands, Winand Staring Centre.

Van den Bosch H., Gitari J.N., Ogaro V.N., Maobe S., Vlaming J., 1998 – Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON) III. Monitoring nutrient flows and balances in three districts in Kenya. *Agric. Ecosyst. Environ.* 71: 63-80